

A talajfizika helyzete és jövőbeni feladatai

(Előadás a MAE Talajtani Társaság Talajfizikai Szakosztályának 1978. január 31-i vitáján)

VÁRALLYAY GYÖRGY

MTA Talajtani és Agrokémiai Kutató Intézete, Budapest

A mező- és erdőgazdasági termelés alapvető célja megfelelő minőségű és minél nagyobb mennyiségű — közvetlenül vagy közvetve emberi felhasználásra kerülő — növényi produktum előállítása anélkül, hogy ez az ember természeti környezetének kedvezőtlen irányú megváltozását, a bioszféra kialakult és kedvező egyensúlyának eltolódását, megbomlását eredményezné.

A növényi terméshozamok növelésének, a talajtermékenység fokozásának lehetőségei

A növényi produktumok növelésének elméleti lehetőségeit foglaltuk össze vázlatosan az 1. ábrán [22]. A mechanizmus energiaforrása a Föld felszínére jutó sugárzó napenergia, amelynek megkötésére csak a fotoszintézis képes. Ebből következik, hogy a növények potenciális biológiai produkcióját elméletileg elsősorban a Föld felszínére jutó napenergia mennyisége (1), illetve a fotoszintézis igen gyenge és gyakorlatilag ma még alig befolyásolható, növelhető napenergia-hasznosítási határfoka (2) korlátozza. Ennél kisebb a természetes növényzet, de még a termesztett kultúrnövények céltudatos nemesítő munkával létrehozott intenzív fajtáinak tényleges potenciális biológiai produkciója (3) is. A nemesítő munka egyik fő célja épp a (2) és (3) közti különbség csökkentése, az optimális ökológiai tényezőket maximálisan hasznosítani képes fajták előállítása. A következő lépcső talajtani szempontból kétségtelenül a legfontosabb, hisz a növény (fajta) *potenciális* biológiai produkciója (3) és a *tényleges* termés (4) közti igen jelentős különbséget a növény életfeltételeinek, elsősorban zavartalan és folyamatos víz- és tápanyagellátásának biztosításával lehet csökkenteni. Mivel napjainkban, de még távolabbi perspektívában sem lehet a talaj nélküli növénytermesztés arányának ugrásszerű növekedésével számolni, a növény víz- és tápanyagellátását az esetek döntő többségében a talajon keresztül kell biztosítani. Hogy ez milyen mértékben és milyen módon közelíthető meg, azt elsősorban a talajökológiai tényezők, a talaj tulajdonságai határozzák meg. A talaj legfontosabb tulajdonsága a termékenység, amely azon specifikus képességét jelenti, hogy kisebb vagy nagyobb mértékben

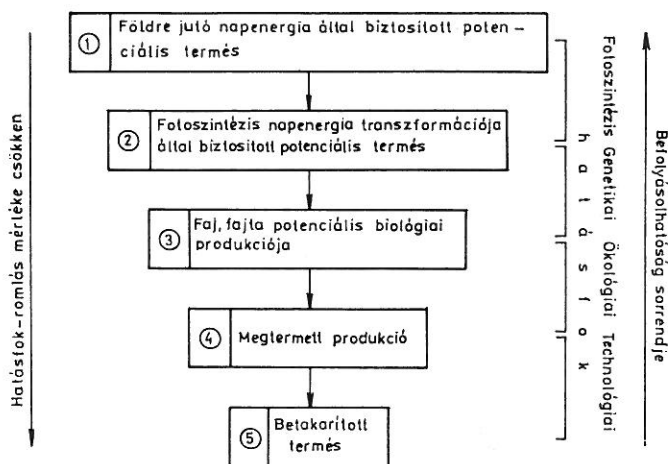
képes a növényeket vízzel és tápanyagokkal ellátni, ami víz, levegő és növényi tápanyagok egyidejű és felvehető formában történő jelenlétét teszi szükségessé [29]. A talaj termékenységét — ennek megfelelően — épp az határozza meg, hogy mennyire tudja (természetes forrásokból, vagy az ember aktív közreműködésével) a termesztett növények optimális folyamatos és zavartalan) víz- és tápanyagellátását biztosítani, illetve vannak-e a talajban olyan tényezők, amelyek közvetlenül vagy közvetve ezt akadályozzák. A talaj termékenységét gátló tényezőkről SZABOLCS és VÁRALLYAY közölt részletes elemzést [31].

A talaj termékenysége szempontjából nagy, gyakran döntő és meghatározó jelentősége van a talaj fizikai és vízgazdálkodási tulajdonságainak [10, 13, 19, 20, 24, 26, 27, 28, 44, 46, 47, 50]. Ezeket az összefüggéseket szemlélteti a 2., 3. és 4. ábrán bemutatott vázlatos összeállítás.

A megtermelt produktum (4) és a betakarított termés (5) közt elég gyakran előforduló jelentős különbségek tekintélyes hányada ugyancsak talajtani okokra, elsősorban a talaj technológiai tulajdonságaira vezethető vissza [14, 19, 26, 28, 46, 51]. A talaj kedvezőtlen technológiai tulajdonságai [agrotechnikai műveletek (talajművelés, magágykészítés, vetés, növényápolás, növényvédelem, betakarítás, stb.) megfelelő időben és/vagy megfelelő minőségben történő elvégzésének korlátozott lehetőségei, táblák heterogenitása, taposási károk, stb.] — amelyekre a 2., 3. és 4. ábra szintén tartalmaz utalásokat — befolyásolják természetesen a (3) — (4) különbség alakulását is.

Az alap-modellként is felfogható 1. ábráról az is kitűnik, hogy míg a terméselőállítás hatásfok-romlásának mértéke az (5) → (1) lépcső irányában nő, tehát a termésmenvelés potenciális lehetőségei — elméletileg — egyre nagyobbak, addig a reális befolyásolhatóság sorrendje (időben és lehetőségekben egyaránt) mégis ezzel pontosan ellentétes és könnyebb, pl. a (4) — (5) különbség csökkentése, mint a (3) — (4), vagy az (1) — (2) különbség.

A talajtermékenység növelése és fokozása tulajdonképpen a (4) — (5), illetve a (3) — (4) különbségek csökkentésével, tehát a növény potenciális biológiai produktójának előállításához szükséges optimális ökológiai és technológiai



1. ábra

A növényi produktum kialakulását befolyásoló tényezők

talajfeltételek megteremtésével, illetve megközelítésével járulhat hozzá — többnyire döntő, gyakran meghatározó mértékben — a nagyobb növényi produktumok előállításához, illetve a nagyobb betakarított termések eléréséhez. A talajtermékenység megőrzése és fokozása tehát a mezőgazdasági termelés fokozásának és — mivel hazánk természeti erőforrásai közül megkülönböztetett jelentőségűek talajkészleteink — természeti erőforrásaink racionális hasznosításának egyaránt kulcskérdése. A talajtermékenység megőrzése és fokozása reálisan csak akkor biztosítható, csak akkor lesz racionális és kedvező hatásfokú, ha a cél megvalósítása érdekében tett lépések az alábbi, szükségszerűen egymásra épülő sorrendben követik egymást:

a) a talaj tulajdonságait kialakító talajképződési folyamatok, a talajban végbemenő anyag- és energiaforgalmi folyamatok egzakt és kvantitatív leírása, jellemzése, illetve annak kívánt pontosságú megközelítése;

b) fenti folyamatokat befolyásoló abiotikus és biotikus tényezők feltárása, hatásuk feltételeinek, törvényszerűségeinek, mechanizmusának tisztázása;

c) mindezek birtokában az egyes folyamatok, illetve talajtulajdonságok számunkra kedvező irányban történő befolyásolására, illetve szabályozására *elvileg* alkalmas lehetőségek feltárása;

d) e lehetőségekből az adott tudományos és termelési színvonal mellett reális variánsok kiválasztása, majd ezek közül — ökonómiai elemzés alapján — a gazdaságossági szempontból is megfelelő változatok meghatározása;

e) végül e változatokra módszerek kidolgozása, illetve pontosan meghatározott technológiai rendszerek kialakítása.

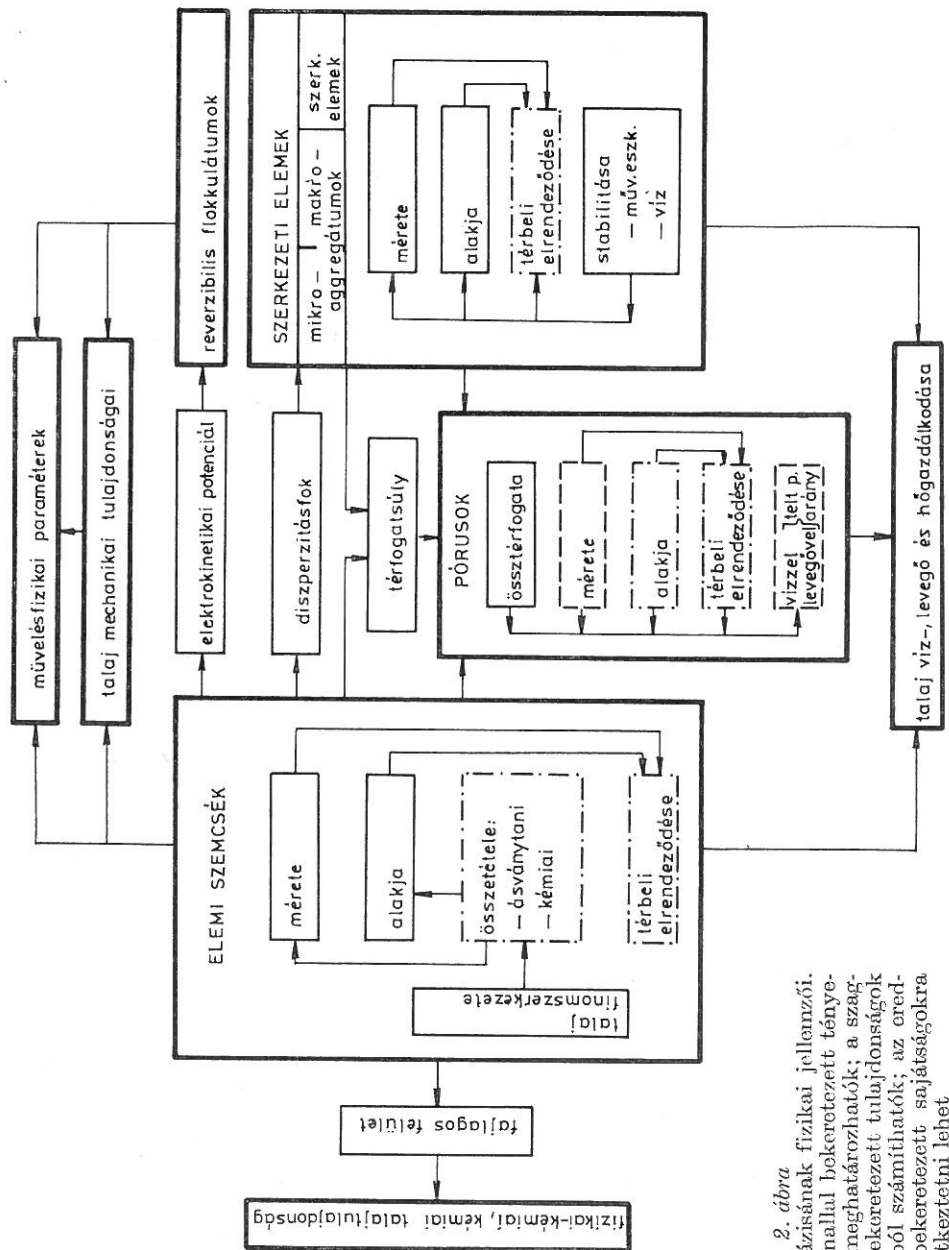
A lépések sorrendjének betartása nemcsak a kutatások és a kísérletezés (idő, szellemi- és anyagi kapacitás, stb.) mellékutaitól és vakvágányaitól óv, de a racionalitást is biztosítja. Pl. lehetővé teszi az adott termelési és gazdasági viszonyok között elért kutatási és kísérleti eredmények és az ezekre alapozott eljárások általánosítási, extrapolálási feltételeinek meghatározását; átvételi és adaptációs lehetőségeinek elbírálását; egyes eljárások várható hatásának bizonyos előrejelzését; stb.

Az elmondottak természetesen a talaj fizikai és vízgazdálkodási tulajdonságaira is érvényesek, mivel végső soron a talajfizika célja sem lehet más, mint a maga területén és a maga eszközeivel elősegíteni a talaj termékenységének megőrzését és fokozását. Ennek az útnak részleteit, lehetőségeit próbáltuk szemléletesen összefoglalni a 2., 3. és 4. ábrán.

A talaj fizikai és vízgazdálkodási tulajdonságai közötti összefüggések

A talaj egy térben és időben változó, háromfázisú polidiszperz rendszer [1, 6, 13, 15, 18, 19, 28, 51]. E rendszer szilárd fázisának elemeit, a köztük fennálló kapcsolatokat mutatjuk be vázlatosan a 2. ábrán. Az ábrán azt is feltüntettük, hogy mely tulajdonságok (tényezők) közvetlen mérésére, melyek számítás útján történő meghatározására van lehetőség, illetve hol vagyunk csupán következtetésekre utalva.

A talaj fizikai és vízgazdálkodási tulajdonságait elsődlegesen az elemi szemcsék mérete, alakja, kémiai és ásványtani összetétele, valamint térbeli elrendeződése határozza meg. Ez határozza meg fajlagos felületüket, ami a szilárd és folyadékfázis kölcsönhatása (ioncsere, tápanyagdinamika, stb.) szem-



2. ábra
A talaj szilárd fázisának fizikai jellemzői.
A folyamatos vonallal bekeretezett tényezők közvetlenül meghatározhatók; a szaggatott vonallal bekeretezett tulajdonságok a mérési adatokból származhatnak; az eredmény vonallal bekeretezett sajátságokra csupán következtetni lehet.

pontjából kiemelt jelentőségű. Az elemi szemcsék — méretüktől, elektrokinetika potenciáljuktól, reverzibilis és irreverzibilis ragasztóanyagok jelenlététől függően — vagy egyenként, vagy különböző méretű, alakú, elrendeződésű és ellenállóságú flokkulátumok, mikro- és makro-aggregátumok formájában fordulnak elő a talajban. Az aggregálódás mértéke (diszperziófok, struktúra-faktor) főként az előbb említett tényezőktől függ. Elsősorban ezek határozzák meg a talaj szerkezeti állapotát: a szerkezeti elemek méret szerinti megoszlását, alakját, térbeli elrendeződését, vízzel és művelőeszközökkel szembeni ellenállóságát.

Fenti tényezők együttesen alakítják ki a talaj porozitásvizonyait, a szilárd fázis alkotóelemei közti hézagteret össztérfogatót, valamint méret szerinti megoszlását egyaránt, amely döntő módon befolyásolja nemcsak a talaj műveléshatékony tulajdonságait, hanem vízgazdálkodását is (3. ábra).

A talaj szilárd fázisának a 2. ábrán vázlatosan összefoglalt jellemzői határozzák meg a talaj mechanikai tulajdonságait (tömöttség, konzisztencia, képlékenység, stb.), erózió-érzékenységet [6, 14, 26, 29, 51].

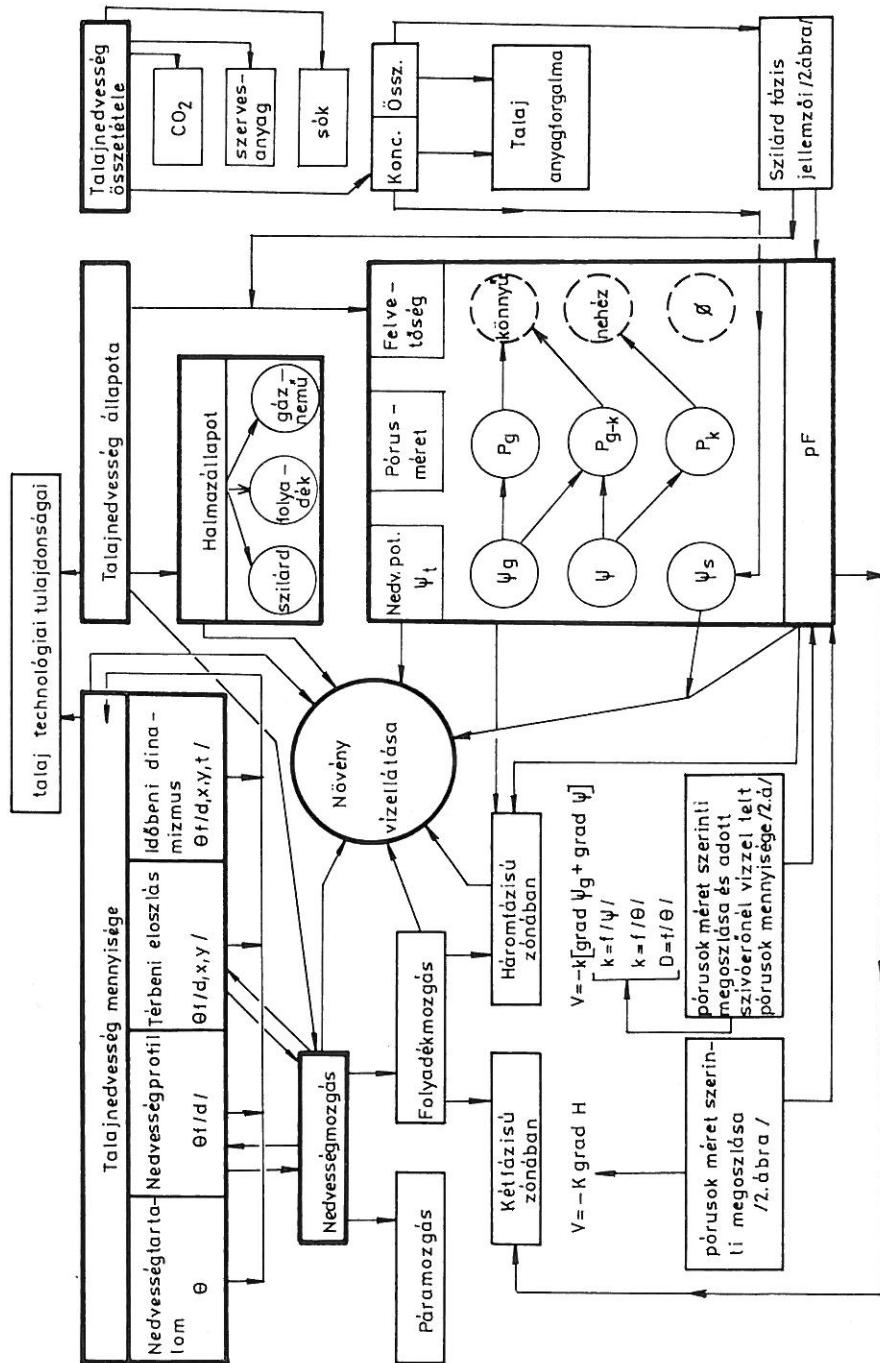
Megkülönböztetett jelentőségű a talaj szilárd fázisának hatása a talaj folyadékfázisára [1, 2, 3, 5, 6, 7, 8, 9, 15, 16, 18, 19, 20, 21, 24, 25, 30, 33, 36, 37, 38, 41, 42, 43, 44, 45, 46, 47, 48, 49, 51.]. Ennek szemléltetésére mutatjuk be a 3. ábrát, amely a talaj vízgazdálkodásának elemeit foglalja össze. Mint az ábráról kitűnik, a talaj folyadékfázisának a termékenységben betöltött szerepét elsősorban három tényező szabja meg: a talajnedvesség mennyisége, állapota és kémiai összetétele. A talajnedvesség aktuális mennyisége négy tényezővel jellemezhető szabatosan: a talaj nedvességtartalmával, a nedvességtartalom talajszelvénybeli eloszlásával (nedvességprofil), a nedvességprofilok térbeli megoszlásával és időbeni dinamizmusával. A mennyiség egymagában még nem határozza meg a növények vízellátásának lehetőségeit, hisz ez függ a nedvesség növények számára történő felvehetőségétől, a talajnedvesség halmazállapotától (jég, folyadék, pára), a talaj nedvességpotenciáljától, gyakorlatilag tehát attól, hogy a talajnedvesség mely hányada milyen erők hatása alatt áll, milyen erővel kötődik a talaj szilárd fázisának elemeihez. Mint erre már korábbi közleményünkben [34] részletesen kitértünk, a talajnedvesség mozgását és növények általi felvehetőségét a talajnedvesség összpotenciálja határozza meg, amely tulajdonképpen különböző erők hatásait kifejező részpotenciálok algebrai összege:

$$\psi_t = \psi_g + \psi + \psi_s \quad (1)$$

ahol: ψ_t = a talajnedvesség összpotenciálja
 ψ_g = a nehézségi erő hatását kifejező gravitációs potenciál
 ψ = a talaj szilárd fázisának hatását kifejező matrix potenciál
 ψ_s = az oldható sók és a disszociáló adszorbeált ionok hatását kifejező ozmózis potenciál.

Mivel kis sótartalmú talajokban, izotermális viszonyok között a ψ_s mennyisége elhanyagolható, a ψ_g értéke pedig talajtulajdonságoktól független állandó (értéke közelítőleg egységnyi), a talaj nedvességállapota jól jellemezhető a talaj szilárd fázisának hatását kifejező matrix-potenciál értékével, illetve az ezt szemléletesen leíró pF-görbékkel [34, 40, 43, 44].

Hogy a talaj nedvességtartalmának végül is milyen hányada milyen erők hatása alatt áll, azt — fentieknek megfelelően — a talaj elemi szemcséi-



3. ábra

A talaj vízgázdálkodásának jellemzői. A folyamatos vonallal bekeretezett tényezők közvetlenül meghatározhatók; a szaggatott vonallal bekeretezett tulajdonságokra a mérési adatok alapján következtethetünk.

nek, mikro- és makro-aggregátumainak, szerkezeti elemeinek, illetve az ezek között kialakult pórusoknak a mérete, alakja és térbeli elrendeződése határozza meg. (Ezek heterogén méret szerinti megoszlása teszi lehetővé a víz- és levegő egyidejű jelenlétét a talajban: a durva pórusok már kis szívóerő hatására kiürülnek, illetve levegővel telítődnek, amikor a finom pórusokban még jelentős mennyiségű, növények számára hozzáférhető víz van, ami a növény tápanyag-felvétele és zavartalan anyagcseréje szempontjából elengedhetetlen követelmény.) Ennek megfelelően a talajfizikában széles körben alkalmazzák a pórusok, illetve nedvességformák megjelölésére a „gravitációs”, „kapilláris-gravitációs”, és „kapilláris” pórus kategóriákat, a szorpciós erőkkel kötött ún. „hártyavíz” megjelölést, illetve a „felvehető” és „nem felvehető” nedvességtartalom definíciókat [6, 13, 19, 25, 29, 30].

Bár a 3. ábrába ezek összefüggéseit is beépítettük, hisz gyakorlati célokra történő alkalmazhatóságuk aligha vitatható, a heterogén polidiszperz rendszert képző talajban nem tartjuk szerencsésnek és fizikai tartalommal pontosan definiálhatónak a pórusméret – nedvességpotenciál összefüggések ilyen nagymérvű leegyszerűsítését. Az azonban mindenképpen tény, hogy a magasabb tenziótartományban (\approx kisebb nedvességtartalom), a szorpciós erők hatása a döntő, majd a növekvő pórusmérettel először a kapilláris erők, végül a gravitáció hatása válik uralkodóvá, meghatározóvá. Következik ebből, hogy a magas tenziótartományban a talajok mikrostruktúrája (ásványi összetétel, agyagásványok típusa, állapota, kristályformája, szerves- és szervetlen amorf kolloidok milyensége és mennyisége), az elemi szemcsék tulajdonságai és az ebből adódó fajlagos felület (2. ábra) határozza meg a nedvességállapotot, a talaj nedvességpotenciálját. Az alacsony tenziótartományban viszont a diszperziófoknak, az aggregáció mértékének, illetve a talaj szerkezeti állapotának van arra döntő hatása (2. ábra).

A talaj nedvességtartalmának és nedvességállapotának az előbbieken részletezett tényezőiből vezethetők le a talajban történő vízmozgás törvényszerűségei, feltételei, iránya, sebessége, stb. A vízmozgásnak tulajdonképpen két alapvető esete különböztethető meg: a folyadékmozgás és a páramozgás. Ez utóbbi általában nem izotermális viszonyok között kialakuló hőmérséklet-gradiens hatására végbemenő diffúzió-desztilláció típusú jelenség. Az oldott anyagok forgalma szempontjából természetesen nem bír közvetlen jelentőséggel, de a talaj nedvességdinamikája, sőt a növények vízellátása szempontjából nem elhanyagolható. Különösen a Föld szélsőséges klímájú, nagy hőmérséklet-ingadozású száraz területein [7, 13, 20, 25].

A folyadékmozgás (víz- és oldatmozgás) két alapvető esete a talaj két-fázisú, illetve háromfázisú rétegeiben végbemenő nedvességmozgás. Előző esetben a szilárd fázis valamennyi pórusát folyadék tölti ki, s így a folyadékmozgás — első közelítésben — jól jellemezhető a hidraulikus gradiens és a hidraulikus vezetőképesség hatását megfogalmazó Darcy-törvénnyel. A talajfizika újabb kutatási eredményei ma már igen sokoldalúan mutatnak rá a Darcy-törvény alkalmazhatóságának korlátaira, fogalmazzák meg érvényességének határfeltételeit [1, 2, 3, 15, 16, 19, 20, 21, 42, 46, 47].

Az is bebizonyosodott, hogy a folyadékmozgás során a talaj szilárd fázisa sem marad változatlan, s abban gyakran olyan jelentős változások következnek be, amelyek a folyadékmozgás egész mechanizmusát megváltoztatják, gyakran látszólagos anomáliákat eredményeznek [8, 17, 20, 21, 33, 41, 42, 43, 45, 50].

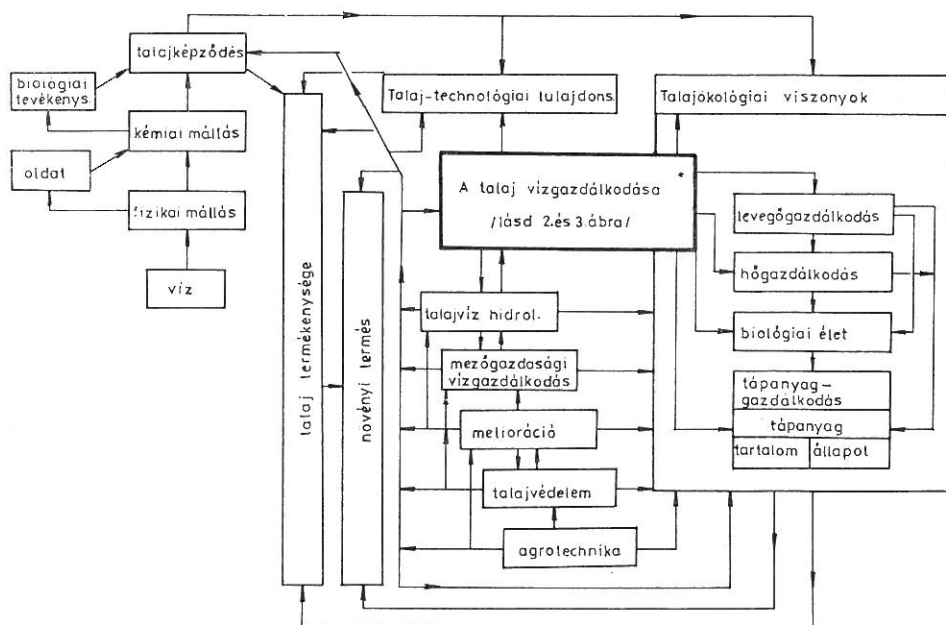
Még bonyolultabb a talaj háromfázisú rétegeiben történő folyadékmozgás törvényszerűségeinek egzakt leírása. Itt ugyanis a szilárd fázis pórusainak csak egy részét (mégpedig adott szívóerőnél a talaj nedvességpotenciálja által meghatározott részét) tölti ki víz, másik része levegővel telt. Emiatt a folyadékmozgás mértékét (V) ilyen esetekben a hatóerők gradienseinek algebrai összege és a talaj folyadékkal telt, tehát annak vezetésére alkalmas, aktív keresztmetszete (λ) által determinált kapilláris vezetőképessége (k) határozza meg:

$$V = -k \cdot [\text{grad } \psi_g + \text{grad } \psi] \quad (2)$$

Következésképpen a háromfázisú talaj kapilláris vezetőképessége nem egy számmal, hanem egy $k = f(\psi)$ vagy $k = f(\theta)$ függvénnyel jellemezhető [36].

Természetesen a telítetlen rétegben végbemenő folyadékmozgás egy nedvességtartalom-különbség gradiens (\approx koncentráció-gradiens) által irányított diffúziós folyamatnak is felfogható ennek megfelelően $D = f(\theta)$ típusú egyenletekkel is leírható, közelíthető (ahol D a vízre vonatkozó diffúziós koefficiens).

A talajban történő folyadékmozgás egzakt, pontos és kvantitatív leírása nemcsak azért nehéz, mert a talaj egy heterogén, térben és időben egyaránt változó, polidiszperz rendszer, így az ideális porózus közegben végbemenő vízmozgás leírására vonatkozó — kisebb könyvtári — szakirodalomban [1, 2, 3, 15, 16, 19, 20, 21, 24, 48, 49] között egyenletek, egyenletrendszerek, szimulációs modellek csak korlátozott érvényűek és felhasználási területük is meg lehetőszen szűken behatárolt. Ennek két további oka is van. Az egyik, hogy



4. ábra

A talaj vízgazdálkodásának hatása a talaj termékenységre, és e hatás mesterséges befolyásolásának lehetőségei.

a talaj folyadékfázisa — extrém kivételektől eltekintve — soha nem jellemezhető reálisan H_2O képlettel, hanem különböző töménységű és kémiai összetételű oldat (3. ábra); a másik pedig hogy állandó kölcsönhatás van a talaj szilárd és folyadékfázisa között. Ez utóbbi folyamatainak, törvényszerűségeinek kutatása ma már szinte külön tudományág [8, 12, 17, 20, 32, 49].

A talaj vízgazdálkodása, ökológiai potenciálja és termékenysége közötti összefüggések

A talaj nedvességdinamikájának, nedvességállapotának, és a talajban végbemenő nedvességmozgásnak döntő szerepe van a talaj termékenységében, ismerete tehát nélkülözhetetlen a talajtermékenység megőrzésére és fokozására irányuló tudatos emberi tevékenységben. Bár arra már a 2. és 3. ábrán is tettünk utalásokat, a 4. ábrán azt mutatjuk be egy egyszerűsített vázlaton, hogy a talaj vízgazdálkodása hogyan hat a talaj egyéb tulajdonságaira, és miként befolyásolja közvetlenül, vagy közvetve egy adott termőhely talaj-ökológiai viszonyait, a talaj termékenységét, mezőgazdasági hasznosítási lehetőségeit, s így végeredményben miképp járulhat hozzá az 1. ábrán bemutatott modell (3)—(4) és (4)—(5) különbségeinek csökkentéséhez.

A 4. ábráról kitűnik, hogy a víz mint oldószer, reagens és szállító közeg jelentős, sok esetben döntő és meghatározó szerepet játszik a mállási, talajképződési, valamint a talajban végbemenő anyag- és energiaforgalmi folyamatokban [9, 17, 18, 20, 22, 25, 29, 30, 32, 37, 39, 41, 43, 44, 45, 49, 50].

A különböző halmazállapotú víz már a fizikai mállásnak is döntő tényezője, majd — oldott anyagokkal feldúsulva — a kémiai mállás folyamataiban is nagy fontosságú.

A víz nélkülözhetetlen szerepet játszik a talajok képződésében, annak abiotikus és biotikus folyamataiban (kilúgzás — felhalmozódás; oldódás — kicsapódás; oxidáció — redukció; bomlás — képződés; stb.), a talaj anyag- és energiaforgalmában (transzport, transzformáció). A hidromorf talajok képződésében a víz szerepe még szembetűnőbb [15, 29, 30, 41, 43, 44, 45, 50].

A víz alapvető ökológiai tényező [8, 22]. Egyrészt közvetlenül, hisz az élet elengedhetetlen feltétele. Másrészt közvetve, hisz a talaj nedvességtartalma tulajdonképpen megszabja a talaj levegőtartalmát is, a víz—levegő—szilárd fázis arány viszont meghatározza a talaj levegőgazdálkodását (levegőzöttség, mértéke, aerob-anaerob körülmények dinamizmusa, stb.), hógazdálkodását, ezeken keresztül a talajban végbemenő biológiai tevékenységet [6, 29]. A felsorolt tényezők jelentős hatást gyakorolnak a növényi tápanyagok tér- és időbeni dinamikájára, transzformációjára, növények általi felvehetőségére, stb. A talaj vízgazdálkodása tehát közvetve a növényi élet másik alapvető tényezőjét is befolyásolja, nemcsak a növények víz, hanem tápanyagellátását is szabályozza (4. ábra).

Ki kell hangsúlyozni, hogy a víz- és tápanyagok egymással nem pótolható és helyettesíthető ökológiai tényezők. Súlyuk és fontosságuk természetesen az adott természeti viszonyok, gazdasági körülmények függvényében, térben és időben egyaránt változhat, attól függően, hogy éppen mely tényező válik a termés kialakításában gátló tényezővé. A műtrágyaféleségek széleskörű alkalmazásának bevezetése előtt pl. a nagy természetes tápanyagtökével rendelkező talajok viszonylag jóval értékesebbek voltak mint jelenleg, amikor a növények

tápanyagszükséglete műtrágyázással könnyebben biztosítható és így más tulajdonságok fontossága kerül előtérbe. Csapadékszegény, szeszélyes csapadékeloszlású, nem öntözhető területeken különös jelentősége van a talaj fizikai és vízgazdálkodási tulajdonságainak, mert ezek kedvező volta esetén a csapadék-víz jelentős része képes a talajban tározódni és így a növények vízellátását viszonylag jobban és hosszabb időre kielégíti. Öntözés lehetősége esetén viszont e talajokkal szemben sok esetben értékesebbek azok a könnyebb mechanikai összetételű talajok, amelyek aszályérzékenységét öntözéssel kiküszöbölhetjük, viszont amelyek művelése jóval könnyebb és kisebb energiaigényű [31].

Mezőgazdaságfejlesztésünk közelmúlt és jelen időszakában azért tudtuk főbb mezőgazdasági növényeink termésátlagait a területegységre alkalmazott műtrágyafelhasználás nagymértékű fokozásával növelni, mivel hazai talajaink jelentős részén a növény makro-tápanyagokkal történő nem megfelelő ellátottsága képezte a limitáló tényezőt. A műtrágyafelhasználás további intenzív növelésével azonban a termésátlagokat nem lehet továbbra is ilyen mértékben fokozni, mivel egyéb tényezők (mikroelem ellátottság, vízellátás, fizikai- és vízgazdálkodási tulajdonságok, egyéb tényezők) válnak a termést meghatározó limitáló tényezővé. Következik ebből, hogy a termésátlagok növelésére irányuló feszített célkitűzéseket csak akkor teljesíthetjük, ha — a növény makro-tápanyag-igényeinek optimális kielégítése mellett — megelőzzük, kiküszöböljük, illetve mérsékeljük az egyéb tényezők korlátozó hatását [31].

Már ma is nagy biztonsággal előrejelezhető, hogy a jövő mezőgazdaságfejlesztésében világszerte, de hazánkban is, a víz válik döntő limitáló tényezővé [5, 12, 50].

Ez a kérdés világprobléma és nem túlzás azt állítani, hogy a Föld rohamosan szaporodó népességének léte, mennyiségileg és minőségileg egyaránt ugrásszerűen fokozódó élelmiszerigényének kielégíthetősége elsősorban a vízkészlet-gazdálkodás megoldásának sikerétől függ. Az extenzív (mezőgazdaságiilag művelt területek kiterjesztése az arid és szemi-arid övezetekben) és intenzív (nagyobb terméseket biztosító intenzív fajták fokozott ökológiai igényeinek kielégítése; növények optimális víz- és tápanyagellátásának megközelítése; nagy műtrágya-adagok kedvező érvényesülésének biztosítása; agrotechnikai műveletek időben és megfelelő minőségben történő elvégzésének lehetővé tétele; termésbiztonság fokozása; stb.) mezőgazdaságfejlesztés vízigénye egyaránt egyre nagyobb. A mezőgazdaság rendelkezésére álló vízkészletek ugyanakkor egyre kisebbek. Egyrészt az ipar, urbanizáció, üdülés, stb. — ugyancsak nagymértékben fokozódó — igényeinek kielégítésén túl (a vízkészlet-gazdálkodás alapelveinek és a természetvédelem követelményeinek szükségszerű betartása mellett) ténylegesen egyre kevesebb víz áll a mezőgazdaság rendelkezésére. Másrészt a különböző irányú vízfelhasználás gyakran vezet a víz minőségének jelentős mértékű romlásához, ami a mezőgazdasági célra felhasználható *megfelelő minőségű* vízkészlet további csökkenését eredményezi. A növekvő igények és a csökkenő készletek közti ellentmondás felszámolása csak új vízkészletek feltárásával és/vagy a vízfelhasználás hatásfokának növelésével oldható fel. Az előbbi gyakran szintén vízminőség-korlátokba ütközik (pl. a viszonylag nagy sótartalmú talajvizek öntözésre történő felhasználása, stb.), a tengervíz sóatlanítása pedig ma még olyan energiaigényes és költséges, hogy még ivóvízellátás biztosítására is csak egész kivételes esetekben jöhet szóba, öntözővíz „előállítására” azonban még hosszabb távlatban sem vehető reálisan számításba. A mezőgazdasági vízellátás kulcskérdése tehát a vízfelhasználás hatékony-

ságának javítása, hatásfokának növelése. Mivel ez a hatásfok ma még többnyire (még a viszonylag fejlett öntözési-, illetve mezőgazdasági vízgazdálkodási kultúrával rendelkező országokban is) igen alacsony, fokozásában óriási potenciális lehetőségek rejlenek [12, 41, 44, 55]. Még Magyarország mérsékelt nedves klímájú területén is, ahol a térben és időben szeszélyes eloszlású csapadékviszonyok mellett a mezőgazdasági termelés mai színvonalán megkülönböztetett (és az elmúlt időszakhoz viszonyítva lényegesen nagyobb) jelentősége van a talaj vízgazdálkodásának, illetve ennek mesterséges szabályozásának; az extrém (sáros, esetleg belvíz- és árvízveszélyt, felszíni lefolyást és talajpusztulást okozó extrémén nedves; illetve aszálykárokat, agrotechnikai nehézségeket okozó extrémén száraz) nedvességviszonyok kiküszöbölésének, mérséklésének; a talajra jutó csapadék- és öntözővíz hatékonyabb felhasználásának [44].

Mivel a vízfelhasználás hatásfokának növelése elsősorban épp a talaj fizikai tulajdonságainak és vízgazdálkodásának számunkra kedvező irányban történő befolyásolásával, szabályozásával valósítható meg, a talajfizika egyik legfontosabb jövőbeni feladata ennek elősegítése.

A 4. ábrán bemutatott összefüggések és kapcsolódások alapján nem túlzás az a megállapítás, hogy a jövőben ez lesz a talajtermékenység megőrzésének és fokozásának, ezen túlmenően azonban a betakarított növényi termékek növelésének egyik kulcskérdése (1. ábra). Jelen munkánkban épp az volt a célja, hogy rámutassunk a cél megvalósítása érdekében megteendő lépések racionális egymásutánosságára, illetve azokra az összefüggésekre, kapcsolatokra (2., 3., 4. ábra), amelyek alapján kijelölhetők a mesterséges beavatkozás lehetőségei (205. old.). Az *a*) és *b*) lépések megvalósításában jelentős feladatai vannak a talajfizikának, s a 2. és 3. ábra bemutatásával elsősorban ehhez kívántunk hozzájárulni. Ezen belül véleményünk szerint a talajfizikai — vízgazdálkodási kutatások legfontosabb kérdései a következők lesznek:

- a talaj vízgazdálkodási tulajdonságainak kvantitatív jellemzése,
- a talajban végbemenő víz- és oldatmozgás egzakt leírása,
- a fentieket befolyásoló tényezők feltárása és hatásmechanizmusának elemzése,
- a fentiekre vonatkozó vizsgálati — adatfeldolgozási — adatértékelési — interpretálási — térképezési rendszer kidolgozása.

A *c*) *d*) és *e*) lépcsők a talajfizika alkalmazott irányainak (pl. művelés-fizika, stb.), a talajfizika tudományos eredményeit felhasználó további kutatásoknak, illetve gyakorlati tevékenységnek (tervezés, technológia kialakítása és végrehajtása, stb.) képezik feladatait. Mégpedig elsősorban a mezőgazdasági vízgazdálkodás (vízpótlás, víztározás, vízelvezetés, vízrendezés), melioráció, talajvédelem, agrotechnika, talajművelés, mezőgazdasági gépesítés szakterületén [10, 26, 28, 29, 30, 40, 46, 50]. Ezekre a kapcsolatokra a 4. ábrán szintén utaltunk.

A talajfizika fejlődése, helyzete és jövőbeni feladatai

A talajfizika fejlődésében hazánkban és nemzetközi viszonylatban egyaránt több jellegzetes szakasz figyelhető meg.

Az első szakaszban csupán egyszerű megfigyelések és tapasztalatok álltak rendelkezésre a talaj fizikai tulajdonságaira vonatkozóan (pl. fizikai talajfélelőség, durva vázrészek aránya, alapkőzet, nedvességforgalomra vonatkozó ta-

paszталati megfigyelések: belvízveszélyesség, szárazság, aszályérzékenység, stb.). Mivel ezek nem egzakt mérési eredményeken, hanem többnyire érzékszervi vizsgálatokon, becsléseken alapultak, természetsszerűleg sok szubjektivitást tartalmaztak. Viszont mivel többnyire sokéves gyakorlati megfigyelések tapasztalatait összegezték, a gyakorlat számára jól, közvetlenül és egyszerűen felhasználható információkat szolgáltatottak — természetesen az adottságoknak megfelelő színvonalon. Magyarországon ezt a szakaszt tulajdonképpen az agrogeológiai térképezés századforduló előtti időszaka jelentette, bár sok elemét a Kreybig-féle átnézetes talajismereti térképek talajvizsgálati rendszerében is felismerhetjük [6].

A technikai fejlődéssel egyre több talajfizikai paraméter mérésére adódott lehetőség, s ennek megfelelően ugrásszerűen növekedett a talaj egyszerű fizikai és vízgazdálkodási tulajdonságaira (mechanikai összetétel, képlékenység, „kötöttség”, stb.) vonatkozó adathalmaz. Ez már lehetőséget nyújtott egyrészt a tulajdonságok térképen történő területi ábrázolására, másrészt a köztük meglevő feltételezett, vagy feltételezhető összefüggések (pl. a fizikai talajféleség — higroszkóposság (h_y) — kötöttségi szám (K_A), illetve telítési % (SP) — kapilláris vízemelés között; a h_y — vízkapacitás — holtvíztartalom között; a mechanikai összetétel — térfogatsúly és a talaj vízáteresztő képessége között; stb.) egyszerű elemzésére. A feltételezett összefüggések *oksági* magyarázata azután lehetővé tette, hogy bizonyos (egyszerűen mérhető) tulajdonságok meghatározása alapján további tulajdonságokra is következtessünk (pl. az egyszerű talajfizikai jellemzőkből a talaj vízgazdálkodási tulajdonságaira, stb.) [6].

A fejlődés következő szakaszában már a talaj fizikai és vízgazdálkodási tulajdonságait befolyásoló tényezők feltárása és hatásának megállapítása volt a talajfizikai kutatások főiránya, s ez a periódus tulajdonképpen már átmenetet képezett a mai talajfizikai kutatásokhoz. Ennek fő jellemzői a talaj fizikai tulajdonságait és a talaj vízgazdálkodását kialakító folyamatok egzakt és kvantitatív leírására, az ezt befolyásoló tényezők tisztázására és hatásmechanizmusának tisztázására, törvényszerűségeinek megállapítására irányuló törekvések [1, 2, 3, 9, 15, 17, 18, 19, 20, 21, 25, 33, 36, 37, 38, 41, 42, 43, 44, 45, 46, 47, 51], mégpedig a korszerű technika valamennyi felhasználható vívmányának (korszerű anyagvizsgálatok, izotóptechnika, fizikai és matematikai, szimulációs és analóg modellek, számítógép-technika, automatizált, folyamatos regisztrálásra is alkalmas műszerezettség, távérzékelés, stb.) maximális alkalmazásával [7, 11, 15, 16, 17, 23, 32, 35, 46, 47, 48, 49, 51]. Az egzaktságra, bizonyos mechanizmusok törvényszerűségeinek megállapítására törekvés természetesen együtt járt azzal, hogy egyre „tisztább” és „ideálisabb” rendszerek kerültek vizsgálatra, modellezésre, amelyek természetesen egyre messzebb kerültek a tényleges viszonyoktól, a természetes állapotú talajtól [3, 15, 21, 48]. Ez a tendencia a talajtan többi ágában is megfigyelhető ugyan, de vitathatatlanul a talajfizika területén legszembetűnőbb.

Ennek minden bizonnyal az az egyszerű oka, hogy a fizikai mozgásforma viszonylag a legegyszerűbb, tehát a fizikai folyamatok és változások egzakt leírása, matematikai modellezése válhat először reálisan megközelíthetővé. A kémiai, de főleg a biológiai jelenségek csak ennél jóval később ismerhetők meg ilyen igénnyel. Az elméleti talajfizikai kutatások eredményeképpen ezért, bár a részfolyamatokról egyre pontosabban leírható kép rajzolódott ki, ezt egyre nehezebben lehetett a természetes viszonyokra interpretálni, jellemzésére

felhasználni és gyakorlati célokra alkalmazni. Legjellemzőbb példa erre talán épp a talaj háromfázisú rétegében végbemenő folyadékmozgás, amelynek problémáira az előbbiekből részletesebben kitértünk [2, 3, 11, 16, 21, 47]. A közvetlen gyakorlati igények kielégítésére szolgáló talajfizikai kutatások és vizsgálatok ugyanakkor megrekedtek az elmúlt fejlődési szakasz regisztrálására szorítókozó experimentális szintjén. E kutatások eredményeit — átfogó összefüggések ismerete hiányában — nehéz általánosítani, azok felhasználhatósága lokálissá szűkül. A talajfizika fejlődése során a két irány közti polarizálódás egyre inkább nőtt, a két irányzat követői másképpen fogalmazták meg célkitűzéseiket, a talajfizika előtt álló feladatokat (még elvontabb, elméleti megközelítés; több mérési adat; természetes viszonyok jobb megközelítése; stb.), egyre kevésbé értették, segítették egymást.

A talajfizikát művelő szakemberek felismerték a további polarizálódás súlyos veszélyeit és az utóbbi öt év szinte valamennyi rendezvényén a két irányzat közelítését, illetve az azok közt keletkező kutatási igények kielégítését jelölték meg a talajfizika egyik legfontosabb jövőbeni feladatánaként. Ezt hangsúlyozta GARDNER (USA, a Nemzetközi Talajtani Társaság Talajfizikai Bizottságának akkori elnöke) a Nemzetközi Talajtani Társaság X. Kongresszusán (Moszkva, 1974) [4], PHILIP (Ausztrália; a Soil Science hasábjain) [23], KUTILEK (Csehszlovákia; a Nemzetközi Talajtani Társaság Talajfizikai Bizottsága és az ICID közös szervezésében „Víz nehéz mechanikai összetételű talajokban” témakörben megrendezett Szimpóziumon) (Bratislava, 1976) [46], s a legutóbb BOLT (Hollandia) a Lengyel Tudományos Akadémia Agrofizikai Kutató Intézete által „A talaj fizikai tényezőinek hatása a növénytermesztésre” témában rendezett nemzetközi szimpóziumán (Lublin, 1977).

Bár a feladat egyértelmű, megvalósítása mégis nagyon nehéz, hisz — épp az erős polarizálódás miatt — a hasonlóan, sőt azonosan megfogalmazott feladatokat a talajfizika különböző területein tevékenykedő szakemberek ma még gyakran igen eltérően értelmezik. A talajfizika fejlődése során kialakult különböző tudományos iskolák (leningrádi [7, 18, 19, 20], moszkvai [13, 25], kaliforniai [21], iowai [15], ausztrál [23], angol [3, 28, 26], holland, francia, belga, német, csehszlovák, stb.) egyébként is elég határozott és jellegzetes profillal rendelkeznek, amelyek közelítése, feloldása, lazítása ugyancsak nem mehet gyorsan végbe. Annyi következtetés azonban a talajfizika nemzetközi fejlődési trendjeinek ismeretében mindenképpen levonható és az ezredfordulóig különösebb kockázat nélkül, nagy valószínűséggel előrejelezhető, hogy első sorban azok a kutatási irányzatok lesznek nemzetközi szinten is versenyképesek, amelyek a talajfizika elméleti kutatási eredményeinek minél nagyobb hányadát lesznek képesek a talaj fizikai tulajdonságainak és vízgazdálkodásának optimalizálására és mesterséges szabályozására irányuló gyakorlati törekvések tudományos megalapozásában hasznosítani.

A fentiekben összefoglaltak alapján a magyar talajfizikai kutatásokban:

1. Feltétlenül szükséges a talajfizikai szemlélet korszerűsítése, az elméleti talajfizika nemzetközi eredményeinek alapos megismerése (ennek alapján az *indokolatlan* párhuzamosságok elkerülése), szükség szerinti adaptációja, a hazai és nemzetközi együttműködésben rejlő lehetőségek fokozottabb és az eddiginél sokkal hatékonyabb kihasználása.

2. Szükséges a talajfizikai tömegvizsgálatok rendszerének kialakítása, illetve korszerűsítése, valamint a kutatási témák néhány kiemelt probléma

köré történő csoportosítása és ezen kutatási irányok korszerű műszerezettségének biztosítása. Ilyenek pl. a talaj fizikai tulajdonságainak sokoldalú és kvantitatív jellemzése; a talajban természeti okok, vagy mesterséges beavatkozások hatására bekövetkező talajfizikai változások regisztrálása, leírása, előrejelzése; a talaj nedvességállapotának pontos jellemzése; víz- és oldatok talajban történő mozgásának egzakt leírása, törvényszerűségeinek meghatározása; a talaj fizikai tulajdonságainak és nedvességforgalmának a talajképződési folyamatokban játszott szerepének tisztázása, stb.

3. Szükséges, hogy a hazai alkalmazott talajfizikai kutatások is átlépjék a regisztráló-experimentális korlátokat és az eddiginél sokkal nagyobb mértékben vegyék figyelembe az elméleti talajfizika eredményeit, de módszereit és egzaktyságra törekvő szemléletét is.

4. A jelenleginél szorosabb kutatási együttműködést kell kiépíteni egyrészt a talajtan többi szakterületével (talajkémia, talajmineralógia, talajtechnológia, talajgenetika, talajtérképezés, stb.), a társtudományokkal (matematika, fizika, fizikai-kémia, kolloidika, biológia, hidrológia, geológia, hidrogeológia, természeti földrajz, meteorológia, stb.) és biztosítani kell, hogy a talajfizika kutatási eredményei ne csak eljussanak az azokat gyakorlatban felhasználókhoz (a mezőgazdasági vízgazdálkodás, melioráció, talajvédelem, mezőgazdasági gépesítés, agrotechnika, stb. szakterületek kutatóihoz, tervezőihez, kivitelezőihez és üzemelőihez), hanem azok tényleges alkalmazásra is kerüljenek.

Ha — egymást segítve — a talajfizika szakterületén tevékenykedő valamennyi szakember e megfontolások alapján fog mindent elkövetni a megfogalmazott célok érdekében, akkor a szakterület eredményesen járulhat hozzá a mező- és erdőgazdasági termelés alapvető célkitűzéseinek megvalósításához, a növényi produktumok növeléséhez, a talaj termékenységének megőrzéséhez és fokozásához, talajkészleteink racionális hasznosításához.

I r o d a l o m

- [1] BAYER, L. D., GARDNER, W. H. & GARDNER, W. R.: Soil Physics. John Wiley and Sons Inc. New York. 1972.
- [2] BEAR, J. ZASLAVSKY, D. & IRMAY, S.: Physical principles of water percolation and seepage. Arid Zone Res. 29. UNESCO, Paris. 1968.
- [3] CHILDS, E. C.: An introduction to the physical basis of soil water phenomena. Wiley-Interscience Publ. John Wiley and Sons Ltd. London. 1969.
- [4] EGERSEGI, S. & VÁRALLYAY, Gy.: A Nemzetközi Talajtani Társaság X. Kongresszususa, I. Bizottság (Talajfizika). Agrokémia és Talajtan. 24. 192—198. 1975.
- [5] GARDNER, W. R.: Soil water relations in arid and semi-arid conditions. In: Plant-water relationships in arid and semi-arid conditions. Arid Zone Res. 15. 37—61. 1960.
- [6] DI GLÉRIA, J. KLIMES-SZMIK, A. & DVORACEK, M.: Talajfizika és talajkolloidika. Akad. Kiadó. Budapest. 1957.
- [7] GLOBUS, A. M.: Ekszperimental'naja gidrofizika pocsv. Gidromet. Izd. Leningrád. 1969.
- [8] HADAS, A. et al. (Eds.): Physical aspects of soil water and salts in ecosystems. Springer-Verlag. Berlin—Heidelberg—New York. 1973.
- [9] HILLEL, D.: Soil and water. Physical principles and processes. Acad. Press. New York. 1971.
- [10] HILLEL, D. (Ed.): Optimizing the soil physical environment toward greater crop yields. Acad. Press. New York. 1972.

- [11] HILLEL, D.: Computer simulation of soil-water dynamics. (A compendium of recent work). Int. Developm. Res. Centre. New York. 1977.
- [12] International source book on irrigation and drainage of arid lands in relation to salinity and alkalinity. FAO/UNESCO. Paris. 1967.
- [13] KACSINSZKI, N. A.: Fizika pocsv. Izd. Vűszs. Skola. Moszkva. 1965.
- [14] KÉZDI, Á.: Talajmechanikai praktikum. Tankönyvkiadó. Budapest. 1961.
- [15] KIRKHAM DON & POWERS, W. L.: Advanced soil physics. Wiley-Interscience Publ. John Wiley and Sons Inc. New York. 1972.
- [16] KOVÁCS, GY.: A szivárgás hidraulikája. Akad. Kiadó. Budapest. 1976.
- [17] KOVDA, V. A. & SZABOLCS, I. (Eds): Modelling of soil salinization and alkalization processes. Agrokémia és Talajtan. **27**. Suppl. 1978. (In Press).
- [18] MICSURIN, B. N.: Energetika pocsvennoj vlagi. Gidrometeoizdat. Leningrad. 1975.
- [19] NERPIN, SZ. V. & CSUDNOVSZKI, A. F.: Fizika pocsv. Izd. Nauka. Moszkva. 1967.
- [20] NERPIN, SZ. V. & CSUDNOVSZKI, A. F.: Energo- i maszszo-obmen v sziszteme rasztenie — pocsva — vozduh. Gidrometeoizdat. Leningrad. 1975.
- [21] NIELSEN, D. R.: Soil water. Soil Sci. Soc. Amer. Madison. 1972.
- [22] ODUM, E. P.: Ecology. Holt, Rinehart and Winston. New York. 1963.
- [23] PHILIP, J. R.: Future problems of soil water research. Soil Sci. **113**. 294—300. 1972.
- [24] RIJTEMA, P.: An analysis of actual evapotranspiration. PUDOC. Wageningen. 1965.
- [25] RODE, A. A.: Osznovü ucenija o pocsvennoj vlage. Gidrometeoizdat. Leningrad. 1965.
- [26] ROSE, C. W.: Agricultural physics. Pergamon Press. London. 1966.
- [27] RUSSEL, E. W.: Soil conditions and plant growth. Longman Publ. H. London. 1973.
- [28] Soil physical conditions and crop production. Ministry of Agric. Fish. and Food Techn. Bull. 29. Her Majesty's Stationery Office, London. 1975.
- [29] STEFANOVITS, P.: Talajtan. Mezőg. Kiadó. Budapest. 1976.
- [30] SZABOLCS, I.: A vízrendezések és öntözések hatása a tiszántúli talajképződési folyamatokra. Akad. Kiadó. Budapest. 1961.
- [31] SZABOLCS, I. & VÁRALLYAY, GY.: A talajok termékenységét gátló tényezők Magyarországon. Agrokémia és Talajtan. **27**. 181—202. 1978.
- [32] TJURJUKANOV, A. N. & GALICKIJ, V. V.: Modelirovanie pocsvennüh processzov i avtomatizacija ih isszledovaniy. Izd. Nauka. Moszkva. 1976.
- [33] VÁRALLYAY, GY.: A Magyar Alföld szikes talajainak hidraulikus vezetőképessége. Agrokémia és Talajtan. **21**. 57—88. 1972.
- [34] VÁRALLYAY, GY.: A talajok nedvességpotenciálja és új berendezés annak meghatározására az alacsony (atmoszféra alatti) tenziótartományban. Agrokémia és Talajtan. **22**. 1—22. 1973.
- [35] VÁRALLYAY, GY.: Berendezés bolygatatlan szerkezetű talajoszlopok hidraulikus vezetőképességének meghatározására. Agrokémia és Talajtan. **22**. 23—38. 1973.
- [36] VÁRALLYAY, GY.: Háromfázisú talajrétegekben végbemenő vízmozgás tanulmányozása. Agrokémia és Talajtan. **23**. 261—296. 1974.
- [37] VÁRALLYAY, GY.: Hydrophysical aspects of salinization from the groundwater. Agrokémia és Talajtan. **23**. Suppl. 29—44. 1974.
- [38] VÁRALLYAY, GY.: Hydraulic conductivity studies on Hungarian salt affected soils. Trans. 10th Int. Congr. Soil Sci. Moscow. 1974. Vol. **1**. 112—120.
- [39] VÁRALLYAY, G.: Application of the unsaturated flow theory in the prognosis of salinization from the groundwater. Proc. Symp. on New Developm. in the Field of Salt Affected Soils. Cairo. 1972. ARE. Ministry of Agric. Cairo. 281—298. 1975.
- [40] VÁRALLYAY, GY.: Az öntözés néhány talajfizikai vonatkozása. MTA Agrártud. Oszt. Közlem. **35**. 159—165. 1976.
- [41] VÁRALLYAY, GY.: Soil water problems related to salinity and alkalinity in irrigated lands. In: E. B. WORTHINGTON (Ed.): „Arid land irrigation in developing countries. Environmental problems and effects”. Trans. Int. Symp. Alexandria. 1976. 251—264. Pergamon Press. Oxford. 1976.
- [42] VÁRALLYAY, G.: Flow of solutions in heavy-textured salt affected soils. Proc. Symp. „Water in Heavy Soils”. Bratislava. 1976. Vol. II. 70—80.
- [43] VÁRALLYAY, G.: Moisture status and flow phenomena in salt affected soils. Proc. „Indo-Hungarian Seminar on Management of Salt Affected Soils”. Karnal. India. 1977.
- [44] VÁRALLYAY, G.: Soil factors limiting optimum water-supply of plants. Proc. Int. Scientific Symposium „The influence of physical factors of soil environment on plant production”. Lublin. 1978.

- [45] VÁRALLYAY, GY. & SZABOLCS, I.: Special water problems in salt affected soils. Trans. X. Int. Symp. „Agrochimica”: „Water in agriculture”. Bari. 1974. Agrochimica. 18. 277—187. 1974.
- [46] Water in Heavy Soils. Vol. I—II. Proc. Symp. Bratislava. 1976.
- [47] Water in the Unsaturated Zone. Vol. I—II. IASH/AISH-UNESCO Wageningen. 1968.
- [48] WIEST, R. J. M. DE: Flow through porous media. Acad. Press. New York. 1969.
- [49] WIT, C. T. DE & KEULEN, H. VAN: Simulation of transport processes in soils. PUDOC. Wageningen. 1972.
- [50] WORTHINGTON, E. B. (Ed.): Arid land irrigation in developing countries. Environmental problems and effects. Pergamon Press. London. 1977.
- [51] YONG, R. N. & WARKENTIN, B. P.: Soil properties and behaviour. Developments in Geotechnical Engineering 5. Elsevier Sci. Publ. Comp. Amsterdam. 1975.

Érkezett: 1978. március 13.